



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Pekka Hasu

Mikroskoopin hankintaprojekti osana prosessituotannon kehittämistä

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Tuotantotalouden tutkinto-ohjelman

Insinöörityö

10.3.2020

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Pekka Hasu Mikroskoopin hankintaprojekti osana prosessituotannon kehittämistä 36 sivua + 6 liitettä 10.3.2020
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Tuotantotalouden tutkinto-ohjelma
Ammatillinen pääaine	Tilaus-toimitusketjun hallinta
Ohjaajat	Manager, Process Development, TkT Antti-Pekka Eskelinen Yliopettaja Antero Putkiranta
<p>Tämän opinnäytetyön teettäjä oli Murata Electronics Oy, jossa tätä kirjoittaessani työskentelen prosessilaatuinsinöörinä. Opinnäytetyön aiheena oli korvata uudella ratkaisulla tuotannon prosessissa käytettävä mikroskooppi. Painopiste oli luoda parempi kyvykkyys nähdä visuaalisesti poikkeava tuote sekä antaa operaattorille vaihtoehto käyttää näyttöä okulaarien lisäksi.</p> <p>Opinnäytetyö tehtiin investointiprojektin muodossa prosessiteollisuuden projektihallinnalle tyypillisellä osakokonaisuudella, johon kuuluivat vaiheet tarvemäärittelystä käyttöönottoon sekä lisäksi käyttöönoton jälkeinen tyytyväisyysmittaus. Hankinnan vaiheisiin syvennytään ensin teoriaosuudessa, josta edetään prosessin kehittämismenetelmien kautta työvaiheen empiriaan, uuden mikroskoopin käyttöönottoon ja jo edellä mainittuun tyytyväisyysmittaukseen.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena vanha mikroskooppi korvattiin uudella, jonka toteutus täytti odotetut vaatimukset.</p> <p>Työtilan haasteista saatiin paljon hyödyllistä informaatiota projektin kulun aikana ja kyselytutkimuksen kautta. Kyselytutkimuksen vastausten esittelyn jälkeen päätettiin käynnistää jatkotoimenpiteitä työtilan parannusta varten.</p>	
Avainsanat	Laitehankinta, mikroskooppi, piikiekkujen tarkastus, jatkuva parantaminen

Author Title Number of Pages Date	Pekka Hasu Microscope Investment Project as Part of Process Production Development 36 pages + 6 appendices March 10, 2020
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Industrial Engineering and Management
Professional Major	Supply Chain Management
Instructors	Antti-Pekka Eskelinen, D.Sc (Tech), Manager, Process Development Antero Putkiranta, Principal Lecturer
<p>This thesis was carried out for Murata Electronics Oy, where I am currently working as a process quality engineer. The objective of this thesis was to replace the current microscope used in the production process. The emphasis was on creating a better ability to see visually defective products and to give the operator an option to use the display in addition to the eyepiece.</p> <p>The thesis was structured as an investment project, following typical project management steps, which included the steps from needs analysis to implementation and in addition a post-implementation satisfaction measurement. The acquisition stages start with relevant theory, which is followed by process development methods and the introduction of new microscope and the aforementioned satisfaction measurement.</p> <p>The outcome of this thesis was the replacement of the old microscope with a new one, which met the expected requirements.</p> <p>In addition, large amounts of useful information about the workspace challenges were obtained through the course of the project and from the survey. Thanks to the survey results, further measures will be launched to improve the workspace.</p>	
Keywords	Equipment investment, microscope, silicon wafer inspection, continuous improvement

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hankintojen luokittelu ja kulku	3
3	Työmenetelmien suunnittelu ja muita työkaluja	6
3.1	Tuotantokonseptit	6
3.2	Prosessin kehittäminen	8
3.2.1	Benchmarking	8
3.2.2	Hukan lähteitä	9
3.2.3	PDCA	10
3.2.4	5S	11
3.2.5	Gemba	12
3.2.6	Kaizen	12
3.2.7	5 x Miksi?	13
3.2.8	Prosessin mittaaminen GAGE R&R	13
4	Piikiekkojen tarkastus	14
4.1	Prosessin esittely	14
4.2	Nykytila ja haasteet	19
5	Case: Mikroskooppi	21
5.1	Hankinnan kulku	21
5.2	Käyttöönotto	22
6	Yhteenveto	26
6.1	Kyselytutkimus	26
6.2	Johtopäätökset	33
	Lähteet	35

Liitteet (ei julkaista)

Liite 1. Solu layout

Liite 2. EIP Investment Proposal Microscope processing 19686

Liite 3. Tarjous

Liite 4. Phases of ECN

Liite 5. Risks summary & test results

Liite 6. Tuotannon työohje työpisteen käytöstä

Lyhenteet

CIT	Critical Incident Technique. Haastattelumenetelmä.
ECN	Engineering Change Notice. Muutoshallintadokumentti.
EIP	Equipment Investment Project. Laiteinvestointiprojekti.
ER	Equipment Review. Laitehankintaprojektiin liittyvät hyväksyntäportit.
ERG	Equipment Review Group. Projektin ohjausryhmä.
IATF	International Automotive Task Force. Autoteollisuudessa käytetty tekninen spesifikaatio.
MFI	Murata Manufacturing Finland. Murata Suomen tehdas.
VDA	Verband der Automobilindustrie eV. Saksan autoteollisuuden järjestö.

1 Johdanto

Opinnäytetyön aihe syntyi työskennellessäni Murata Electronicsilla Process Quality -tiimissä prosessilaatuinsinöörinä vastaan automaattisesta optisesta tarkastuksesta. Edellisvuoden prosessien parannukseen liittyvässä budjettisuunnittelussa oli kiinnitetty vastuualueeni kehittämistä varten rahaa. Tarkemmin tämä tarkoitti vanhan tuotannossa käytettävän mikroskoopin korvaamista uudella. Tyypillisesti prosessien ja tuotteiden validointityöt, niihin liittyvien teknisten ratkaisujen suunnittelu ja hankintoihin päädyttäessä projektipäällikön rooli on luontevampaa antaa prosessikehitystiimin jäsenelle. Kuitenkaan juuri tuolloin prosessikehitystiimistä ei ollut antaa henkilöä hankinnan ja hankintaan vaikuttavien tekijöiden läpivientiä ja tarkastelua varten. Projektia ehdotettiin minulle. Kannatin ajatusta.

Minulla oli hyvät lähtökohdat työtä varten. Vastasin jo alueen prosessien laadusta, mutta projektijohtamisesta minulla ei ollut aikaisempaa kokemusta, vaikka olinkin suorittanut Suomen Projekti-Instituutti Oy:n järjestämän projektijohtamisen valmennuksen Muratan fasilitoimana.

Työ toteutettiin investointiprojektin muodossa. Työn teoriaosuudessa perehdytään projektin vaiheisiin ja käsitteistöön painottuen tämän työn kannalta oleellisiin osiin. Teoriaosuudessa tutustutaan lyhyesti erilaisiin prosessien parannusmenetelmiin. Teoriaosuuden jälkeen tarkastellaan empiirisesti itse kohdetta eli tuotantoprosessia ja syvennytään sen aiheuttamiin haasteisiin. Tämän jälkeen käydään läpi mikroskoopin käyttöönottoon liittyvät vaiheet, joilla varmistetaan prosessin laatu. Työn onnistumisen kannalta oleellinen vaihe on käyttöönoton jälkeisen kyselytutkimuksen tulosten katsaus sekä siitä kehittyneiden jatkokehitysideoiden esittely työn lopussa. Työ asetti suuntaviivat jatkokehittämiselle.

Työn sisällössä käsitellään informaatiota, jota pidetään salaisena. Olen koostanut nämä asiat tekstin ulkopuolelle liitteiksi, jotka jätän julkaistussa versiossa pois.

Murata Electronics Oy

Opinnäytetyön toimeksiantajana toimi kiihtyvyyys-, kallistus- ja kulmanopeusantureita suunnitteleva ja valmistava Murata Electronics Oy Vantaan Martinlaaksossa. Yhtiö on osa japanilaista Murata-konsernia, jonka pääkonttori sijaitsee Japanissa Kiotossa.

Murata Electronics Oy toimii autoteollisuuden liiketoiminta-alueella, ja se valmistaa ja toimittaa piipohjaisia kapasitiivisia antureita ympäri maailman tavoitteenaan luoda ajoneuvoista jatkuvasti turvallisempia. Yhtiöstä on kasvanut ajonvakautusjärjestelmissä ja sydämentahdistimissa käytettävien liikeantureiden globaali markkinajohtaja. Yhtiöllä on liki neljäkymmenen vuoden historia jo ennen Murata-konserniin yhdistymistä. Murata Electronics Oy oli aikaisemmalta nimeltä VTI Technologies Oy, jonka pääomistaja oli kansainvälinen pääomasijoitusyhtiö EQT vuodesta 2002 aina vuoteen 2012 saakka, kunnes Murata Manufacturing Co. Ltd osti sen. Samalla yhtiön nimi muuttui Murata Electronics Oy:ksi tai lyhyemmin MFI:ksi (Murata Manufacturing Finland). MEMS-teknologian kehittäminen alkoi puolestaan jo 70-luvun loppupuolella Vaisalassa, josta se erkaantui vuonna 1991, kun VTI Technologies perustettiin. Kuvassa 1 on esitetty Muratan toimipisteet ympäri maailman.



Kuva 1 Murata globaalisti.

2 Hankintojen luokittelu ja kulku

Kirjallisuudessa hankintaa ja investointeja tarkoittavia määritelmiä painotetaan sen mukaan, mitä milloinkin halutaan korostaa. Lyhyesti kuvattuna hankinnan päätehtävä on pyrkiä poimimaan eri toimittajavaihtoehdoista se, joka pystyy täyttämään juuri siihen tiettyyn tilanteeseen liittyvät tarpeet. Valmistavassa teollisuudessa tarve on lähtöisin tuotannosta. Sen syytä voivat olla esimerkiksi laitteen eliniän saavuttaessa loppunsa tai prosessin yksinkertaisesti muuttuessa niin, että vanha laite ei enää kykene suorittamaan osoitettua tehtävää. Laitehankintaprojekti voi kestää muutamista viikoista jopa useisiin vuosiin riippuen täysin investoinnin suuruudesta. (Iloranta ym. 2015, 53.)

Iloranta ym. (2015, 59-61) tekemän jaottelun mukaan hankinta voidaan jakaa esimerkiksi seuraaviin ryhmiin:

1. tuotannon hankinnat
2. projektityyppisen tuotannon hankinnat
3. investoinnit
4. epäsuorat hankinnat.

Perusideana on yhdistää hankinta johonkin näistä pääryhmistä parhaiten sopivien keinojen ja työkalujen hahmottamiseksi. Ryhmät eroavat toisistaan sekä tavoitteiden että käytännön toimintamallien suhteen. Ilorannan ja Pajunen-Muhosen mukaan tämä on osoittautunut toimivaksi ratkaisuksi. Toiminnan edellytyksiä luovat investoinnit ovat hankintojen ryhmä, jota ei aina edes tunnisteta hankinnoiksi. Välillä haasteena nähdään se, että investointeja hoidetaan projektinomaisesti ilman hankinnan ammattilaisia tai kontakteja muuhun hankintaorganisaatioon. Tällöin riskiksi muodostuu olemassa olevien toimittajakontaktien ja osaamisen hyödyntämättä jättäminen.

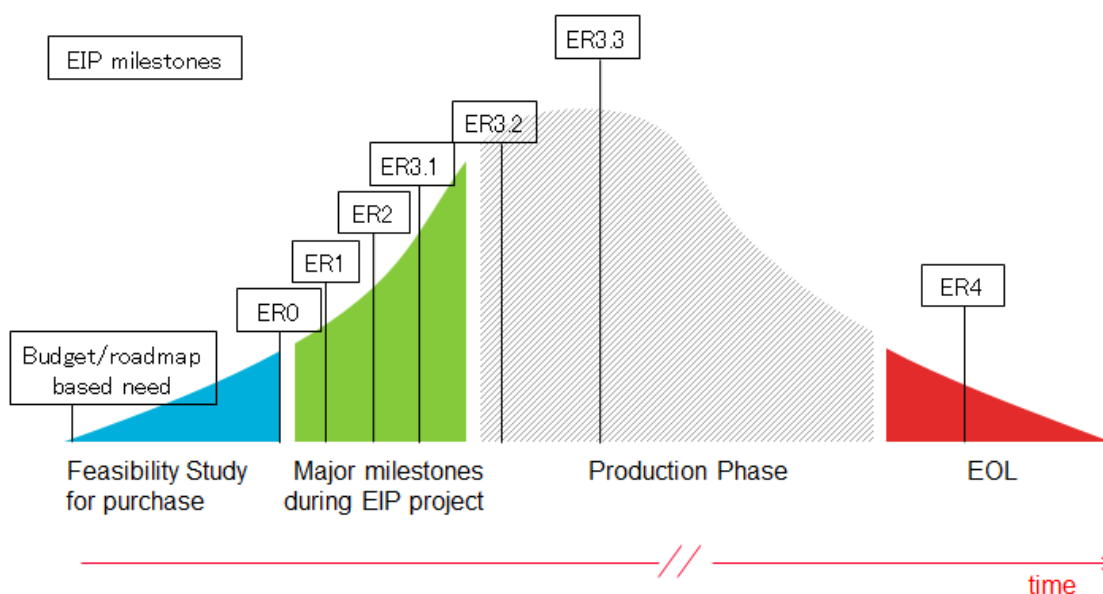
Tämän työn keskiössä tullaan pitämään investointihankintaa, jonka pääpiirre on sen kertaluontoisuudessa ja laajuudessa unohtamatta kuitenkin sen tuomia hyötyjä tuotantoon.

Laitehankinta

Laitehankinta kattaa kaikkien yrityksen tarvitsemien materiaalien, laitteiston, ohjelmiston ja prosessin kokoonpanon ja osaamisen hankinnat eli oikeastaan kaiken hankinnan alusta tuotantoon saattamiseen asti. (EIP-systeemidokumentti 2018, 4.) Tarve investointiprojektille voi syntyä kapasiteetin nostamisesta, kokonaan uuden tuotteen tekemisestä tai vanhan päivityksestä, vanhan laitteen korvaamisesta tai laatuun liittyvän ongelman ratkaisemisesta. Joskus tarve voi tulla yksinkertaisesti prosessin kyvykkyyden parantamisesta. (EIP Training. 2019, 17.)

Laitehankinnan vaiheet

Laitehankinta pitää sisällään useita eri vaihteita. Muratalla vaiheet voidaan esittää kuvassa 2 esitetyllä tavalla, jossa ne etenevät järjestelmällisesti eteenpäin. Tässä opinnäytetyössä keskitytään vaiheisiin tarvemäärittelystä (feasibility study) laitteen tuotantoon (production phase). Elinkaaren päässä on punaisella laitteen poisto.



Kuva 2 Laitteen elinkaari tarvemäärittelystä poistoon. (EIP Training. 2019, 6)

Hankintaprosessi aloitetaan tarpeen kartoittamisella. Tarvekartoitus on kriittinen vaihe hankintaprosessia, sillä se vastaa kysymyksiin, mitä tarvitaan, miksi tarvitaan ja kuinka usein tarvitaan. Kartoittamalla tarve oikein varmistetaan hankinnan alku oikeille raiteille. Tarvemäärittely on aikaa vievä vaihe ja sen apuna tulisi käyttää yrityksessä olevaa

osaamista tehokkaasti. Hankinnan alkuvaiheissa olisi hyvä käyttää mahdollisuuksien mukaan myös laitteen loppukäyttäjiä, jos mahdollista.

Kuvassa 2, vihreällä merkatut virstanpylväät (milestone), ovat projektin edetessä eteen tulevia hyväksyntäraportteja, joihin tulee saada hyväksyntä yhtiön ohjausryhmältä (ERG). Ryhmä muodostuu organisaation eri ryhmien managereista. Ohjausryhmän tehtävä on valvoa projektin edistymistä. Virstanpylväät ovat:

ER0. Projektin kuvaus, aikataulu ja riskit

ER1. Toimittajaehdokkaat ja niiden vertailu

ER2. Esihyväksyntätestetit

ER3.1. Asennushyväksyntätestetit

ER3.2. Stabiiliustestetit (EIP Equipment Investment Process, 4-6).

Opinnäytetyön kannalta oleellimmat vaiheet ovat ER0, ER1 ja ER3.1.

Kuten aiemmin jo mainittiin, investointiprojekti lähtee liikkeelle tarpeen määrittämisestä. ER0-hyväksyntää hakiessa on lupa aloittaa projekti havaitulle tarpeelle. Tässä vaiheessa tarvetta pyritään perustelemaan erilaisin kannattavuutta mittaavin menetelmin. Hankintakategoriasta riippuen voidaan tarkastella esimerkiksi takaisinmaksuaikaa tai hankinnan pitoaikaa. Nyt hankinta koskee mikroskooppia, jonka kulurakenne on suora- viivainen ja osalista on räätälöity valmiista osakatalogista, joten hankinnan perusteluiksi riittävät hukasta aiheutuvat kustannukset sekä tuotannosta tullut palaute. Toinen tärkeä asia ER0-hyväksyntää haettaessa hankinnan perusteluiden jälkeen on ehdottaa resurssit. Projekti tarvitsee aina projektinvetäjän tai projektipäällikön sekä projektiryhmän, johon kuuluu henkilöitä eri puolilta organisaatiota. Koska projekti koski tuotantolaitteen hankintaa, oli henkilöitä järkevää ottaa mukaan laiteryhmästä, prosessilaadusta sekä tuotannosta. Tiimin muodostumisen jälkeen annettiin jäsenille vastuut. Investointiehdotus henkilöresursseineen projektia varten on esitetty liitteessä 2.

ER1-vaiheessa verrataan toimittajaehdokkaita erilaisin testein. Toki testaamisen voi aloittaa jo ER0:ssa, mutta mittavimpien laitehankintojen osalta tämä ei tietenkään ole aina mahdollista. Tässä vaiheessa tulosten perusteella pyritään luomaan ristiintaulukoinnin avulla pisteytysjärjestys toimittajaehdokkaista, joita voidaan pitää vakavasti harkittavina. Mikroskoopin kannalta oleellisinta oli katsoa sellaiset osat, jotka pystyivät

täyttämään asetetut tarpeet. Näin ollen erillistä speksiä ei sinällään tarvinnut laatia. Riitti, että mikroskoopin kokoonpanoa demottiin ja että osat täyttivät sähköstaattiselle purkautumiselle asetetut vaatimukset. Hankintaprosessin hyväksymistä ajatellen ER1-hyväksynnän jälkeen hankinnalle oli tilauslupa ja hankinta siirtyi oston käsittelyyn.

Vaiheet ER2-3 liittyvät erilaisiin tehtäviin testeihin sekä toimittajan että tilaajan tiloissa, kun kyseessä on laite, jota käytetään tuotteen valmistuksessa. Laadukkaiden tuotteiden valmistaminen vaatii yksinkertaisesti laadukkaat laitteet ja prosessin. Muratalla on ISO9001-, VDA6- ja IATF 16949-laatujärjestelmien sertifikaatit, jotka oikeuttavat toimittamaan tuotteita autoteollisuuteen, jolloin laaduntuottokyvyn varmistaminen tulee testata riittävällä tarkkuudella laatuvaatimusten täyttämiseksi.

3 Työmenetelmien suunnittelu ja muita työkaluja

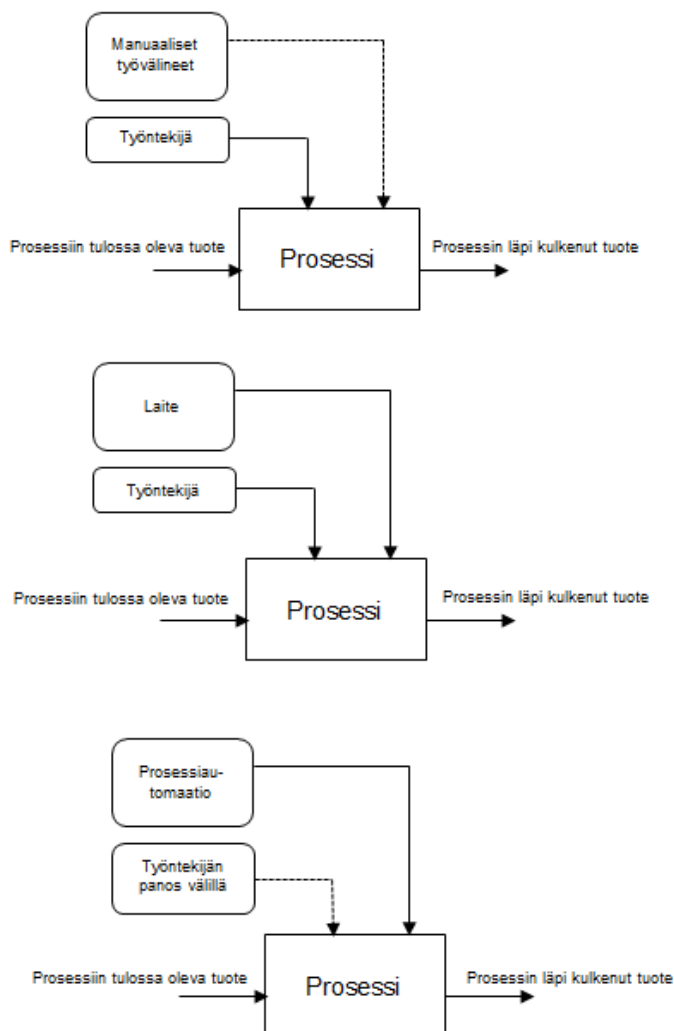
3.1 Tuotantokonseptit

Työmenetelmällä tarkoitetaan prosessin suorittamisessa käytettävän työkalun, laitteen tai työskentelytavan kuvaamista, suunnittelua ja määrittämistä. Toteutuksessa tämä luo lukuisia erilaisia mahdollisuuksia, mutta yleensä suunniteltaessa ensimmäisenä tulee kysymykseen konseptin määrittäminen. Pääkysymyksenä pyöritellään, voisiko prosessin automatisoida kokonaan, luoda puoliautomaticoitu työympäristö, jossa työntekijä olisi vain osittain mukana, vai tulisiko prosessista tehdä täysin työntekijän panoksesta riippuva eli manuaalinen. Tyypillinen lähestymistapa konseptin valintaan on hakea jonkinlainen kompromissi.

Amerikkalainen tutkija Mike Rother on sitä mieltä, että lähestymistapaan tulisi tehdä 180 asteen käänös siten, että ensin tulisi miettiä sitä paikkaa, missä haluamme olla ja mitä haluamme saavuttaa ja vasta sen jälkeen miettiä keinoja sinne pääsemiseksi. Prosessin konseptisuunnittelussa tämä tarkoittaisi kaikkien vaihtoehtojen punnitsemista toimivina vaihtoehtoina, myös täysin manuaalista työympäristöä niin kauan kuin työ saadaan pidettyä virtautettuna. (Haverila ym. 2009, 488; Rother, M. 2010, 52-53.)

Groover, Mikell P. (2008, 21) on määritellyt työnkulun konseptit kuvassa 3 osoitetulla tavalla ylhäältä alas kolmentyyppisesti: täysin manuaaliset työvaiheet, ihmisen tekemä

työ korvattuna osittaisella automaatiolla ja kokonaan korvattuna automatisoiduilla prosesseilla.



Kuva 3 Tuotantokonseptien kolme kategoriaa.

Parhaat tulokset saavutetaan, kun työmenetelmät otetaan huomioon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Esimerkiksi tuotannon käynnistysvaiheessa, tuotteiden kokonaismäärien ollessa vielä vähäisiä, voitaisiin aloittaa joustavalla manuaalisella prosessilla. Työmenetelmien suunnittelussa käydään jokainen yksittäinen prosessi läpi. Lean-ajattelun kannalta tulisi lähestymistapa valita sen mukaan, mikä tuottaa prosessissa vähiten hajontaa ja hukkatekijöitä.

Projektilla ei ollut resursseja lähteä miettimään työskentelyä uudelleensuunnittelun kautta, eikä se ollut tässä vaiheessa tarkoituskaan. Tulevaisuuden tahtotila on saada

tarkastus osittain automaattiseksi siten, että operaattorilla olisi vain joitakin prosessiin liittyviä tukitoimia tehtävänä. Tämän saralla on joitakin alustavia testejä ja yhteistyötä jo olemassa tätä työtä kirjoittaessa.

3.2 Prosessin kehittäminen

Prosessin kehittäminen on jatkuvaa parantamista, jonka kehä kuljetaan yhä uudelleen, kun kehittämiselle tulee uusia tarpeita. Toyotan entinen pääjohtaja Fujio Cho määrittelee prosessin hukkaa tuottavaksi, mikäli prosessiin syötettävää materiaalia ei saada jalostettua valmiiksi jalostuksen kannalta minimimäärällä tarkastuksia ja työntekijän resursseja. Tällaisesta tilanteesta tulisi päästä pois. (Bicheno, J & Holweg, M. 2009, 17.)

Jatkuva parantaminen lähtee tarpeesta parantaa. Ensimmäinen haaste on löytää tämä tarve prosessista. Lähtökohta parantamiselle on prosessin lähtötila. Se tulee saada ennustettavaksi ja stabiiliksi ennen kuin parannuskohteita kannattaa lähteä etsimään. Muuten parannuksella saavutettava tulos on satunnaista. (Bicheno, J & Holweg, M. 2009, 49.) Kun tämä ymmärretään, päästään lean-parantamisen syvempään olemukseen, jota tämä koko luku oikeastaan käsittelee.

3.2.1 Benchmarking

Benchmarking eli vertailukehittäminen on yksi tapa parantaa esimerkiksi jo olemassa olevan prosessin suorituskykyä. Sitä voidaan käyttää läpi organisaation niin yksittäisen tuotantoprosessin, osaamisen kuin päivittäisen johtamisen parantamiseen. Vertailukehittäminen perustuu pitkälle kahden tai useamman osapuolen kumppanuuteen, jossa nämä osapuolet jakavat tietoa toisilleen. Kumppanuus voidaan sopia yrityksen sisällä osastojen välillä sisäisenä vertailuna tai yritysten välillä ulkoisena vertailuna. Ideana on verrata samankaltaisia prosesseja keskenään ja ottaa käyttöön sellaisia toimivia käytäntöjä, joita ei välttämättä osattu aikaisemmin ajatella. Parhaimmillaan vertailukehittäminen on silloin, kun käytäntöjä ei yritetä kopioida ja ottaa väkisin käyttöön omassa prosessissa, vaan silloin, kun ne tuovat ymmärtämystä ajatella prosessia eri suunnilta, jonka jälkeen käytäntöjä otetaan soveltaen käyttöön. (Niva M. & Tuominen N. 2005, 14–17.)

Hankinnan aikana oli mielenkiintoista saada yhteydenotto kollegalta Japanista, joka oli sillä hetkellä suunnittelemassa vastaavaa prosessia heidän tarpeisiinsa. Työn aikana muodostunutta dokumentaatiota pääsi hyödyntämään jo ennen työn valmistumista. Benchmarking nähtiin erityisen hedelmällisenä, kun prosessin haasteita ja etenkin ratkaisuehdotuksia pääsi esittelemään vierailun yhteydessä gemba-kävelyllä tuotannossa.

3.2.2 Hukan lähteitä

7 hukkaa (japaniksi muda) on Toyotalla työskennelleen Taiichi Ohnon luoma käsite. Ne ovat toimintoja, jotka eivät tuo lisäarvoa vaan ovat tarpeettomia. Usein nämä esiintyvät tuotannossa, mutta ne voidaan kuvailla mihin tahansa toimialaan. Ajatuksen perustana on määritellä arvoa tuottavat ja arvoa tuottamattomat aktiviteetit sekä pakolliset tukitoimet, jotka eivät varsinaisesti jalosta tuotetta, mutta on pakko pitää mukana. Ennen jakoa tulisi tarkastella tuotetta asiakkaan silmin – mistä asiakas maksaa? Hukan vähentäminen ei tarkoita kustannusten vähennystä. Kustannusten vähennys saattaa seurata hukkaa vähentävistä toimenpiteistä, mutta näin ei ole aina. Ensiksi tulisi keskittyä isoihin kokonaisuuksiin ja siirtyä sieltä alaspäin. Keskittyminen yksittäisien sekuntien poistoon ei näy viikon mittaisessa läpimenoajassa vielä mitenkään. Hukkien tunnistaminen nostaa prosessissa olevat ongelmat näkyviin. 7 hukan lähdeitä ovat

ylituotanto

odottaminen

virheet

kuljettaminen

yliprosessointi

varastointi

käyttämätön potentiaali (myöhemmin tunnistettu hukka).

Ylituotanto on pidetty hukista ongelmallisimpana. Ylituotannossa tuotetta ei osata valmistaa kysyntää varten, vaan siitä alkaa muodostua varastoja.

Odottaminen aiheutuu monesta syystä. Tuotannossa odotusta voi muodostua esimerkiksi pullonkaulaefektiksikin tunnistetussa tilanteessa, kun tuotantolaitteet toimivat eri tahtiin. Jopa työkalujen etsiminen aiheuttaa odotusta. Hukaksi voidaan ajatella jokaista hetkeä, kun tuote odottaa jotain.

Virheet aiheuttavat luonnollisesti hukkaa, jos tuote joudutaan hylkäämään. Usein kokonaisilta hylkäyksiltä vältytään, mutta silti tuotetta joudutaan korjaamaan (re-work). Virheiden havaitsemisesta niiden korjaukseen kuluu aikaa, joka puolestaan aiheuttaa häiriötä läpimenoissa.

Kuljettaminen on tarpeetonta tuotteen siirtelyä paikasta toiseen. Tuotantoprosessissa kuljettamista voidaan harvemmin poistaa kokonaan, mutta työvaiheiden sijaintia voidaan järkevöittää kuljettamisen vähentämiseksi.

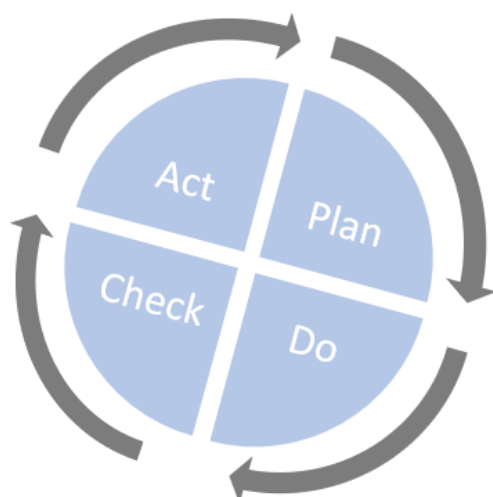
Yliprosessoinnissa tehdään työtä, mikä ei tuota arvoa ja josta asiakas ei lopulta maksa. Arvoa tuottamatonta prosessointia on esimerkiksi tiedon keruu, jota ei käytetä tai erilaiset tuotteen ylimääräiset tarkastukset. Varastointi hukkana on yleensä oire, joka syntyy yliprosessoinnista.

Myöhemmin mukaan otettiin käyttämätön potentiaali eli ihmisten tietämys. Etenkin tuotetta lähimpänä työskentelevien ihmisten ääni on hankala saada kuuluvaksi, ellei heillä ole sitä varten kanavaa. Tieto saattaa jäädä sanomatta, tai hiljaisesta tiedosta syntyä toimintatapoja, joita ei ole standardoitu. (Bicheno, J & Holweg, M. 2009, 19-23). Myöhemmin käsitellään kaizen, joka on nähty tehokkaana menetelmänä luoda ääni tuotannossa työskenteleville työntekijöille.

3.2.3 PDCA

Järjestelmällinen jatkuva parantaminen vaatii standardin laadunkehityksen mallin ongelmien selvitystä ja ratkaisua varten. Toimenpiteitä pitää pystyä testaamaan ja niiden tehokkuutta mittaamaan. Jatkuvan parantamisen edistämiseksi on olemassa monia eri työkaluja, mutta yksi yleisimmistä on PDCA-sykli, joka on esitetty kuvassa 4.

PDCA-sykli, jota kutsutaan myös Demingin ympyräksi, on Edwards Demingin kehittämä laatuajattelutapa, joka koostuu neljästä lohokosta: P (Plan) suunnittelu, D (Do) tekeminen, C (Check) tarkastus ja A (Act) kehitys. Jatkuvassa parantamisessa ympyrä kuljetaan läpi yhä uudelleen, kunnes lähtöongelmalle on saatu ratkaisu tai ongelmasta on opittu jotain uutta, mikä aiheuttaa muutoksia kehystoimenpiteissä. On hyvin yleistä, että matkan varrella tarkasteltavaa prosessia opitaan ymmärtämään lisää. (Haverila ym. 2009, 381-382.)

**Plan, Suunnittelu**

- Pyri ymmärtämään asiakastarve ja juurisyy
- Tee ennuste halutusta lopputulemasta

Do, Toteutus

- Vie suunniteltu toimenpide toteutukseen
- Hyvä suunnittelu ja dokumentointi helpottaa toteutusta

Check, Tarkasta

- Tarkista saavutettiinko toimenpiteellä oikea tulos

Act, Kehitä

- Jatkokehitä toimintamallia ja standardoi
- Tarvitessa optimoi

Kuva 4 PDCA-sykli. (Muokaten, Haverila ym. 2009, 382)

PDCA-sykliä käytetään monesti pelkästään kehittämismenetelmänä, mutta se on myös ratkaisumalli erilaisille prosessissa oleville ongelmille. PDCA-menetelmää katsotaan usein kapeasti siten, että asioiden pitäisi lähteä liikkeelle aina P:stä. Jos ajatellaan kuitenkin tilannetta, jossa prosessi tuottaa viallisia osia jostain toistaiseksi tuntemattomasta syystä, suunnittelu ei olekaan se paras mahdollinen lähtökohta, vaan itse asiassa C eli tarkastetaan menemällä paikan päälle, mistä on kysymys, ja suunnitellaan sitten, kun tiedetään, mistä on kysymys. (Bicheno, J & Holweg, M. 2009, 52.)

3.2.4 5S

Lyhyesti 5S-menetelmän tarkoituksena on tuoda järjestystä tuotantoon nimeämällä kaikelle tuotannossa olevalle materiaalille omat paikat. 5S-vaiheet tulevat viidestä sanasta: sorteeraus, systematisointi, siivous, standardointi ja seuranta. Ensimmäisenä työpiste tai alue riisutaan kaikesta tarpeettomasta. Sitten layout muokataan tarpeeseen nähden oikeanlaiseksi työpiste- ja säilytysratkaisuilla. Myös materiaalin liikuttamisen toimintamalli on katselmoitava. Järjestyksen ylläpitämiseksi siisteydelle on asetettava tavoitteet ja tavoitteisiin pääsemiseksi laadittava riittävät siivousrutiinit. Uusituista toimintatavoista on laadittava ohjeet, ja työntekijät saatava sitoutettua yhteisiin toimintatapoihin. Ennen kaikkea jokainen työntekijä on saatava toimimaan samalla tavalla. Vii-

meiseksi ohjeistusten noudattamista on valvottava etenkin alussa, jotta uudet rutiinit jäävät kaikkien alueella työskentelevien mieleen. (Arrow Engineering, 2016.)

5S on yksi leanin suosituimmista työkaluista, mutta (Bicheno, J & Holweg, M. 2009, 136-137) mukaan jatkuvaa parantamista ei kannata aloittaa tästä. Työpisteiden siivoamisen taakse ei pitäisi tarvita suurempaa filosofiaa. 5S on erittäin tehokas menetelmä myös siivoamiseen, mutta se ei ole sen perusolemus. Perusolemus on työn standardoinnissa eli saada työntekijät toimimaan yhtenevästi, ja viemällä 5S tuotantoon siivousmenetelmällä antaa työntekijöille siitä täysin väärän kuvan. Pahimmillaan se saattaa tuntua pakkopullalta. Kuten aiemmin mainittiin, 5S on työn standardointia, mikä vähentää prosessissa vaihtelua ja lisää ennustettavuutta. 5S on itse asiassa lähtökohta jatkuvalla parantamiselle.

3.2.5 Gemba

Gemba-kävely on kantautunut jokaisessa arvoa tuottavassa tuotantoympäristössä työskentelevien ihmisten huulille 2000-luvun ensimmäisellä kymmenyksellä. Konsepti toimii useassa portaassa läpi yrityksen organisaatioiden. Toimitusjohtaja saattaa kävellä tuotantotasolla säännöllisesti, tai ihan muuten vain hakien vastausta mieltä askarruttavaan kysymykseen. Gemba tarkoittaa suomeksi todellista paikkaa, jossa työ tai arvo-tuotanto tehdään. Gembassa mennään paikan päälle ja nähdään, miten prosessit oikeasti toimivat. Kävelyn tehokkuus tuleekin siitä, kun nähdään, miten erilaiselta asiat näyttävät käytännössä. (Bicheno, J & Holweg, M. 2009, 49-50.)

3.2.6 Kaizen

Jatkuva parantaminen on yksi leanin tärkeimmistä kulmakivistä. Jatkuva parantaminen tulee japaninkielisestä sanasta kaizen. Jatkuva parantaminen perustuu prosessin lähtötilan selvittämiseen. Tämän jälkeen haetaan keinoja kehittää prosessia paremmaksi. (Liker, J.K. 2004, 251-252.) Jatkuva parantaminen on filosofia, jonka Deming määrittelee yksinkertaisesti koostuvan parannusaloitteista, jotka lisäävät menestyksiä ja vähentävät epäonnistumisia. Jatkuva parantaminen tähtää hukkan vähentämiseen kaikkialla organisaatiossa. Se tuo työntekijät lähemmäksi prosessien kehitystä ja kehottaa tuomaan parannusehdotuksia ilmi. Parannukset voivat poikia pidempiä projekteja tai pienempiä muutoksia työskentelyyn tai työkaluihin. Usein merkittävät parannukset tapah-

tuvat ajan kuluessa lukuisien asteittaisten parannuksien seurauksena. Jatkuva parantaminen saavutetaan etsimällä ongelmien juurisyitä, vähentämällä vaihtelua ja eliminoimalla hukkaa. (Bhuiyan, N. 2005, 761-762.)

3.2.7 5 x Miksi?

Bicheno, J & Holweg, M. (2009, 55-56) käyttävät 5 x miksi -esimerkissään asiakastyytyväisyyttä. Asiakastyytyväisyys on keho. Miksi? Koska toimitukset ovat myöhässä. Miksi? Koska tuotteen valmistusta ei aloiteta heti. Miksi? Koska tilauksista muodostuu jono. Miksi? Koska tuotteita tehdään isoissa sarjoissa ennen vaihtoa. Miksi? Koska tuotteen vaihtoon kuluu paljon aikaa. Miksi? Ei tietoa. Tätä kohtaa olisi järkevää lähteä selvittämään.

5 x miksi on ratkaisumenetelmä juurisyihin pääsemiseksi. Menetelmä on varsin yksinkertainen ja rakenteeltaan helppo omaksuttavaksi. Kun kysytään miksi monta kertaa peräkkäin, niin päästään seurauksen perimmäiseen syyhin – tai ainakin melkein. Menetelmä pyrkii selvittämään, mikä saa ihmiset käyttäytymään tietyllä tavalla, ja haastamaan heidät pohtimaan toista tapaa. Tärkeää olisi saada kysymykset puettua avoimeksi, jotta oikeaan syyhin päästään kiinni ja ratkaisuehdotukset eivät kohdistuisi osasyihin.

3.2.8 Prosessin mittaaminen GAGE R&R

GAGE R&R eli toistettavuus- ja uusittavuustesti (repeatability & reproducibility) on prosessiohjaustyökalu, jolla on mahdollista selvittää mittalaitteen kyvykkyys toistaa mittaus sekä tulosten riippuvuus mittaajasta eli operaattorista. Tuloksien perusteella voidaan todentaa prosessissa esiintyvän vaihtelun lähteitä. (Barrentine, L. B. 2003, 9.)

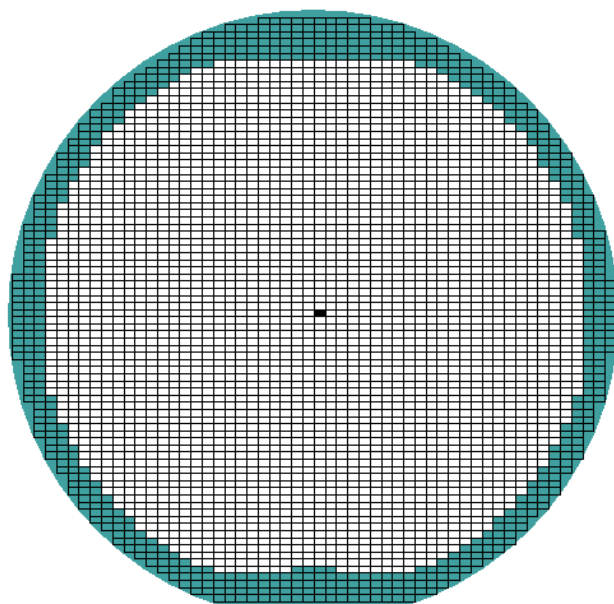
4 Piikiekkojen tarkastus

4.1 Prosessin esittely

Raakamateriaalina käytetään pyöreänohuita piikiekkoja (jatkossa pelkkä kiekko), joka kuuluu puolijohdeteollisuuden perusraakamateriaaleihin. Kiekot esivalmistetaan kiekko-toimittajan puolesta halkaisijalta 150, 200 tai 300 mm:n suuruisiksi. Halkaisija voi vaihdella tuotteittain, mutta tuotannollisista syistä johtuen halkaisija kannattaa pyrkiä pitämään samanlaisena kaikilla tuotteilla tuotantoketjun läpi. Aivan prosessin loppuvaiheessa valmiissa kiekossa on tuhansia elementtejä (antureita), jolloin suuremman kiekon yksikkökustannukset ovat luonnollisesti pienemmät. (Kuisma, M., Leinonen, S. 2004.) Murata käyttää prosessissaan halkaisijaltaan 150 mm:n kiekkoja.

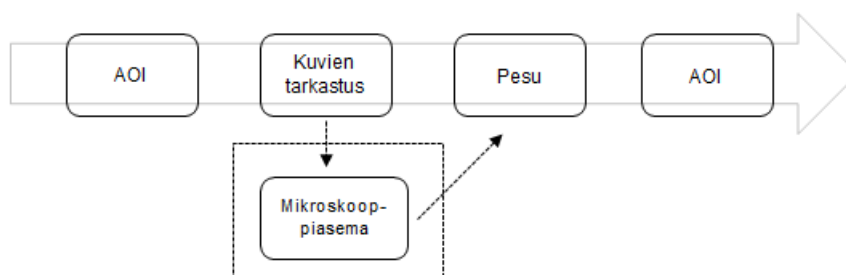
Valmistava tuotanto koostuu isosta joukosta puolijohdeteollisuuden prosessivaiheita, jotka voidaan jakaa kahteen valmistukseen: kiekkovalmistukseen ja elementtivalmistukseen. Kiekkovalmistukseen kuuluvat litografia, etsaus sekä ohuiden metallirakenteiden kasvatustuotantoprosessit. Anturivalmistuksessa kansikiekko, rakennekiekko ja joissakin tapauksissa myös pohjakiekko liitetään yhteen. Kiekkojen yhteen liittämisen jälkeen elementti saa lopullisen ulkomuotonsa, kunnes se erotellaan tuhansista muista samanlaisista elementeistä sahaamalla.

Tätä kyseistä prosessivaihetta ajatellen visuaalinen tarkastus on oleellisessa asemassa. Visuaalinen tarkastus toimii prosessissa laadunvarmistuksen asemassa. Ilman kyvykästä tarkastusta ei työvaihetta voida suorittaa eikä sen ulostuloa pysty ennustamaan. Tarkastus tehdään kiekkovalmistuksen viimeisissä vaiheissa. Kiekkon pintaan kasvatetaan metarakenne, joka kuvioidaan elementtialueen muotoiseksi rakenteeksi. Kuvassa 5 on havainnollistettu kiekon pinnalle kasvatettu metallirakenne.



Kuva 5 Metallirakenteet kiekon pinnalla (Rudolph Discover -ohjelmiston graafinen illustraatio).

Kiekon tarkastus on pieni, yksittäinen työvaihe isossa kokonaisuudessa työvaiheita. Yleiskuvan muodostamiseksi on syytä kuitenkin tarkastella hieman tarkemmin ympäröiviä työvaiheita. Kuvassa 6 on esitetty kiekon tarkastus irrallisena työvaiheena muista työvaiheista prosessivuossa.



Kuva 6 Työvaiheet eli prosessivuo, joista mikroskooppiasemalla tehtävä tarkastus korostetussa ruudussa.

Kiekkojen tarkastusta edeltävässä työvaiheessa kiekkoille tehdään automatisoitu visuaalinen tarkastus (AOI - Automated Optical Inspection), missä kaikki kiekot tarkastetaan automaattisella tarkastuslaitteella. Massatuotannossa automaattiseen tarkastukseen pyrkiminen on välttämätöntä kolmesta syystä:

1. Tarkastus toimii laatuporttina ja sen kriittisyyden vuoksi otantaperusteinen tarkastus ei ole riittävä, eikä pelkästään sen varaan sitä voi sen takia harkita tehtäväksi.
2. Ihmissilmä ei ole yhtä tarkka kuin konenäkö. Vaikka 100 % visuaaliseen tarkastukseen päästäisiinkin manuaalisella työvoimalla, olisi virheiden määrä kuitenkin merkittävä, koska tarkastus ei ole toistettava.
3. Manuaalinen 100 % visuaalinen tarkastus sitoisi merkittävästi resursseja. Yhdessä kiekossa on tuhansia anturialkioita, ja rakenteet leikkaavat jokaisen elementin sivujen kohdalla.

Tarkastettavia parametreja on useita, joista yksi liittyy metallirakenteiden tarkastukseen. Tämä tarkastus tehdään kuvassa 6 vaiheessa kuvien tarkastus. Tarkastus on niin ikään kriittinen, sillä riittävän suuri kuviointivirhe metallissa voi aiheuttaa ongelmia myöhemmissä prosessivaiheissa.

Visuaalisen tarkastuksen jälkeen kiekon tulokset tarkastetaan tietokoneella. Tietokone näyttää tarkastajalle löydökset kuvina ja piirtää niiden sijainnin karttaan. Sen jälkeen tarkastaja siirtää kiekon mikroskoopin alle ja etsii kohdat kiekolta. Valtaosassa kiekoista ei löydy vikoja, vain sitä osaa tarkastellaan mikroskoopilla, joista löytyy vikaa. Tietokone saattaa antaa paljon ylimääräisiä kuvia eli niin kutsuttuja kohinavikoja, joita ei kuitenkaan tarvitse ottaa huomioon. Kuvassa 7 on esitetty tyypillinen metallijäämä sekä kohinavika, joka ei ole tässä vaiheessa millään tavalla kriittinen.



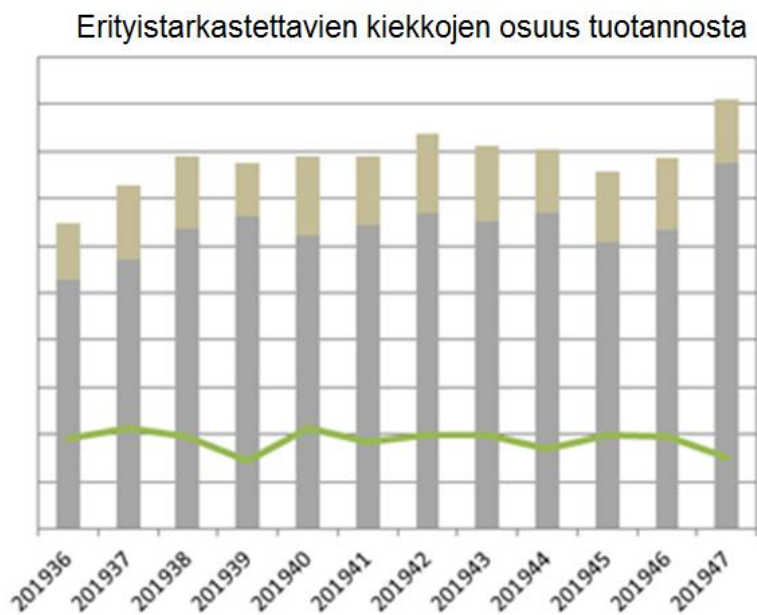
Kuva 7 Vasemmalla metallijäämä. Oikealla prosessin tuottama kohinavika näkyy pienenä mustana pisteenä. Jälkimmäinen vika ei ole metallirakenteiden tarkastuksessa oleellinen.

Koska kaikki löydökset eivät ole kriittisiä, operaattoreilla on käytössä työohjeen muodossa kriteerit jatkotoimenpiteitä vaativista vioista. Näitä ovat kaikki tarkastusalueella näkyvät viat kuten metallia levittävät naarmut, piisaarekkeet - eli pintaan ulottuvat pohjapiin virheet - ja erilaiset metallijäämät, joiden syntyperä tulee edellisten prosessivaiheiden vaihtelusta. Vian sijainti ja koko ovat ratkaisevassa asemassa. Kun kohta on paikannettu, voidaan jatkotoimenpiteistä päättää. Mikroskooppi ja työpiste on sijoitettu suljettuun tilaan. Kaikki työskentely tuotannossa tapahtuu puhdistilaolosuhteissa. Puhdistilatyöskentelyssä on tärkeää minimoida kaikki partikkelien lähteet ja ylläpitää sopiva lämpötila, ilmankosteus ja ilmanpaine. Yksinkertaistettuna puhdistilat luokitellaan niiden sisällä olevan ilman puhtauden mukaan ISO-puhdistilaluokkiin. Puhdistilaluokka on tilassa noudatettava puhtauden taso partikkelihuukkasten määrän ja koon mukaan ilmatilavuutta kohden. Muratalla on ISO 4-, ISO5- ja ISO8-puhdistilaluokkiin kuuluvia tuotantotiloja, näistä ISO 4 on puhtain. (Laatupassi, 2018.)

Analysoinnin jälkeisessä työvaiheessa kiekon pinta pestään vesi- ja typpipesulla, jonka jälkeen automatisoitu visuaalinen tarkastus uusitaan muiden tuotteelle asetettujen parametrien osalta.

Prosessin mittaaminen

Kuvassa 6 esitettiin kiekkojen mikrokooppitarkastus irtautettuna työvaiheena ja annettiin ymmärtää, että vain osa kiekkoista kulkee tämän tarkastuksen läpi. Näin onkin. Kuvassa 8 esitetään kolmen kuukauden tarkastelujakson ajalta kerätty aineisto tarkastuksen läpi menneistä kiekkoista: keskimäärin neljäsosa kaikista tuotetuista kiekkoista menee tarkastuksen läpi.



Kuva 8 Aikasarjakaavio kolmen kuukauden tarkastelujaksolta, jossa vihreä trendiviiva näyttää mikrokooppitarkastukseen menevien kiekkojen suhteellisen osuuden. Kaaviossa päällekkäiset pylväät osoittavat läpimenneet kiekot kappalemäärinä yhteenlaskettuna. Harmaalla värillä näkyvät kiekot, joissa ei ole vikaa, ja vihreänruskealla värillä kiekot, joissa metallirakenteissa on näkyvää vikaa.

Kuva 6 paljastaa melko hyvin työvaiheen luonteen. Se ei ole välttämätön paitsi silloin, kun metarakenteissa havaitaan vikaa. Se on itse asiassa välttämätön tukitoimi aiemmin prosessissa tuotetun virheen poistamiseksi. Tukitoimiprosessin vapauttamiseksi ja sen vähentämiseksi tulisi tutkia ja tehdä laadun parannusta siellä, missä virhe pääsee syntymään. Virheen ketjureaktion tuotos on tarve kiekon tarkastukselle. Demingin (2012, luku 2) mukaan laadunkehityksellä voidaan parantaa sekä tuottavuutta että kustannustehokkuutta samanaikaisesti. Metallirakenteisiin syntyvien virheiden poistaminen vähentää kiekkojen tarkastustarpeen, mikä parantaa tuottavuutta, koska läpimenoaika lyhenee. Mikrokooppitarkastuksessa aiheutuvat inhimillisten virheiden tuomat kustannukset pienenevät puolestaan, kun tukitoimiprosessin läpi menevän materiaalin määrä pienenee.

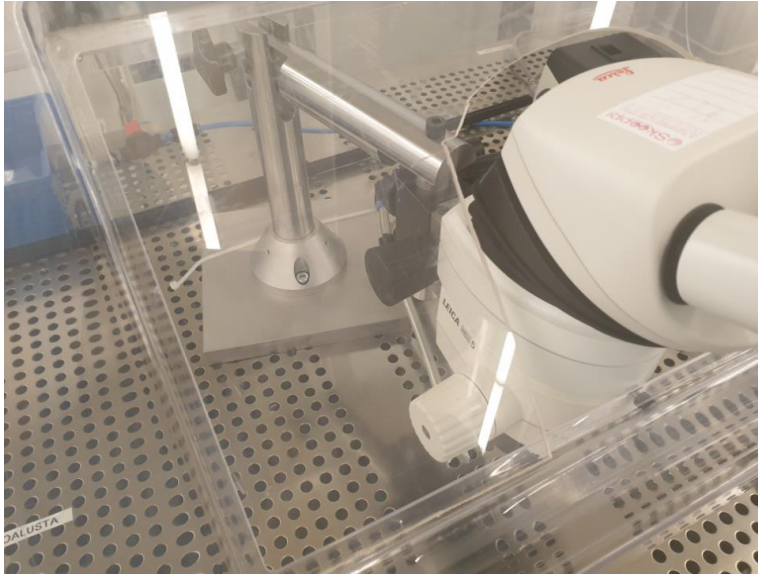
4.2 Nykytila ja haasteet

Nykytilan katsaus antaa kuvauksen työn lähtökohdista. Sen arvioiminen tuo yhteisen näkemyksen kohteesta, tämänhetkisestä tilanteesta ja auttaa arvioimaan muutoksen hyödyllisyyttä. Nykytilaa kartoittaessa tulee ottaa huomioon henkilöstö, sillä muutostarpeet eivät välttämättä näy kaikille samanlaisina tai samanarvoisina. Muutoksen onnistumisen kannalta on tärkeää, että kartoitusvaiheeseen otetaan riittävä määrä henkilöitä eri organisaatioryhmistä niin teknisen ratkaisun kuin käytännön toteutuksen osalualueilta, tuotannon työntekijöitä unohtamatta. (Martola & Santala 1997, 73.)

Kiekkojen tarkastusta harjoitellaan työntekijän perehdyttämisessä harjoituskappaleen avulla, jotta tarkastuksen suorittamiseen saadaan tarvittava osaaminen ja varmuus. Kokonaisuudessaan Murata on satsannut perehdyttämiseen paljon kaikilla osa-alueilla, mikä näkyy työn jäljessä ja motivaatiossa tuoda epäkohtia esiin Kaizen-prosessin kautta. Virheitä kuitenkin sattuu perehdytykseen satsaamisesta huolimatta. Työvaiheen luonteen vuoksi - työvaihe on ikään kuin virheen korjaamista jo itsessään - virhettä ei voi enää jälkeinpäin korjata, vaan siitä syntyy hukan kautta kustannuksia.

Lean-bloggaaja Ferhan Syed kuvaa kustannuksiin liittyviä riskejä "1-10-100-säännöllä" sen mukaan, yritetäänkö virhettä korjata ehkäisevästi, korjaavasti vai hukkaa tuottavasti. (Fyed, S. 2009.) Tämä sama sääntö pätee sisäisistä tuotantovaiheista aina kentälle asti. Virheelliset tuotteet, jotka etenevät kokonaan tai virheellisesti prosessoituna seuraavaan vaiheeseen, aiheuttavat aina suuremmat kustannukset.

Tuotannossa tehty gemba-kävely paljasti työpisteen kannalta monia ongelmakohtia. Työpisteen sijainti ja solu-layout on esitetty liitteessä 1. Jo projektin alkuvaiheessa oli todettava, että hankinta oli ensimmäinen askel laajempaa parantamisen tarvetta. Josain vaiheessa tilan koon rajallisuus tulisi vastaan. Operaattorit esittivät huolensa työpisteen ahtaudesta. Kuvassa 9 on esitetty kiekkojen tarkastuspisteellä oleva mikroskoopi. Työskentelytila on tehty muutaman neliön kokoiseen huoneeseen. Pöydällä on kaikki tarvittava materiaali, mutta työskentelyä varten on kovin vähän tilaa. Työpisteelle on merkitty kaikelle materiaalille oma paikka. 5S-menetelmä ohjaa tuotannossa kaikkialla tehdasta työympäristön ja työpisteiden järjestystä.



Kuva 9 Kavo-tarkastusmikroskooppi. Kuva otettu gemba-kävelyn yhteydessä.

Toinen menetelmä ongelmakohtien selvittämiseksi oli anonymi syvähaastattelu. Haastattelussa käytettiin CIT-menetelmän (Critical Incident Technique) eli kriittisen tapahtuman tullen (selvän inhimillisen virheen ilmettyä) sekä 5 x Miksi -menetelmän yhdistelmää, jossa operaattoria pyydettiin kertomaan mahdollisimman tarkasti tapahtuman kulku. Haastattelussa käytettiin kysymyksiä: mitä tapahtui ja miten tapahtuma voitaisiin estää? Virheen tekijän selvittäminen ei ole menetelmässä oleellista vaan virheen syyn löytäminen. Nämä haastattelut olivat tärkeässä asemassa hankintaa perustellessa. Seuraavassa muutamia lainauksia CIT-raporteista, joita Muratalla kutsutaan inhimillisemmin HERO-raporteiksi (Human Error) kysymykseen "Miksi näin pääsi tapahtumaan?"

Kuva oli sumea. Kuva on liian lähellä kiekon pintaa, jotta näkisin vian ympärille riittävän tarkasti.

Työskentelyolosuhteet olivat vaikeat, erityisesti tuotteen A kanssa on usein vaikeuksia.

Mikroskooppi ei ole hyvä. Työskentelytila on ahdas ja mikroskoopilla ei näe riittävän hyvin työskentelyä varten. Sinä iltana kuva oli erityisen huono.

Kuva on ihan surkea koko ajan. Kiekolla olevia vikoja on vaikea löytää.

5 Case: Mikroskooppi

Tässä luvussa esitellään laiteinvestointiprojektimikroskooppi sen kaikkine vaiheineen. Projekti päättyy mikroskoopin käyttöönottoon. Käyttöönoton jälkeen suoritetaan vielä kyselytutkimus. Kyselystä kerättyä palautetta hyödynnettiin aloittamalla hankinnan jälkeen uusia parannustoimia sijoittaa työpiste sellaiselle alueelle, joka tulevaisuudessa mahdollistane työskentelytilaan liittyviä parannuksia.

5.1 Hankinnan kulku

Hankinnan tavoitteeksi asetettiin vanhan mikroskoopin korvaaminen sekä paremman työergonomian luonti työn suorittamiselle. Tällä erää työskentelypisteen paikkaa ei tul-taisi muuttamaan. Hankinnalle oli asetettu myös tiukka ajallinen raja. Tilaus oli saatava tehtyä ennen kuluvan tilikauden päättymistä, jotta kehityshankkeeseen budjetoidut va-rat olivat käytettävissä. Muussa tapauksessa budjetti tuli hakea taas uudelleen seuraavan tilikauden budjettisuunnittelussa.

Vaatusmäärittely tehtiin keräämällä malliesimerkit erityyppisistä mikroskoopin läpi menevistä tuotteista. Näitä demottiin potentiaalisen toimittajaehdokkaan tarjoamalla mikroskooppikokoonpanoilla. Tämän tuotoksena syntyi tarvemäärittely. Tässä auttoi luonnollisesti se, että toimittaja sijaitti myös Suomessa ja tapaaminen saatiin järjesty-mään nopealla aikataululla.

Tapaamisen jälkeen saimme tarjouspyynnön kokoonpanosta, joka on esitetty liitteessä 3. Tarjouspyynnössä kävi ilmi:

- kuvaus kokoonpanosta ja palvelusta
- tekniset vaatimukset
- toimitusmäärä ja yksikkö
- toimitusaika ja -paikka.

Erilaisia kokoonpanoja on lukuisia, joten toimittaja testasi vielä kokoonpanoa omissa tiloissaan ja varmisti, että kaikki osat ovat varmasti yhteensopivia.

Tässä vaiheessa hankintaa oli muodostunut muutama potentiaalinen toimittaja. Oli aikataulullisista syistä loogista jatkaa eteenpäin sen toimittajan kanssa, jolta olimme saaneet toimivan kokoonpanon. Tarjouksia verrattiin, mutta toisen toimittajaehdokkaan palvelujen sijaitessa ulkomailla oli helppo perustella valinta, jota oli päässyt testaamaan. Kokonaiskustannusten puolesta tarjoukset eivät juuri eronneet. Painavimmat valintakriteerit olivat sopiva kokoonpano, varaosien saatavuus rikon yllättäessä sekä toimitusaika.

Luvussa hankintojen luokittelu ja kulku esitettiin hankintaprosessin virstanpylväät. Käytännössä tämän hankinnan osalta saatiin hyväksynnät hankinnalle jo ER0-vaiheessa, kun kaikki edellä mainittu materiaali oli saatu kasattua kokoon.

5.2 Käyttöönotto

Autoteollisuuden ja sen toimitusketjussa olevia organisaatioita veloitetaan IATF 16949 -laatustandardin mukaan luomaan proseduuri, jolla dokumentoidaan tuotannon prosesseihin ja tuotteiden valmistukseen liittyviä muutoksia. Dokumentti sisältää tarkan kuvauksen tehtävästä muutoksesta, asiakkaalle kommunikoimisesta, riskien määrittelystä, toteutuksesta, testaamisesta sekä muutoksen viemisestä loppuun. (ECN process training, 2019.) Muratalla tätä dokumenttia kutsutaan ECN:ksi (Engineering Change Notice). Tämän työn muutoksen kuvaus on liitteessä 4, riskienhallinta liitteessä 5 ja työn tuottama dokumentti tuotannon käyttöön liitteessä 6.

ECN:ssä on neljä erikseen hyväksyttävää vaihetta: Plan (suunnittelu), Active (aktivointi), Review (katselmointi) sekä Closing (sulkeminen). Plan-vaiheessa kirjoitetaan muutoksesta kuvaus, miten ja minkälaisissa palasissa muutos tullaan viemään läpi sekä selvitetään muutoksen toteutettavuus. Active-vaihe on lupa aloittaa tuotanto muutoksen jälkeen. Testitulosten huolellinen dokumentointi ja se, että yleensä suunnitelmaan asetettuihin tavoitteisiin on päästy, on Active-vaiheeseen mentäessä tärkeää. Active-vaiheessa muutos otetaan tuotannossa käyttöön. Onnistuneessa muutoksen käyttöönotossa korostuu kaikkien muutoksen vaikuttavien tahojen kanssa kommunikointi sekä

muutoksen läpivienti. Review-vaiheessa mitataan muutoksen vaikutukset planiin kirjautulla tavalla, jonka jälkeen muutos suljetaan ja arkistoidaan. Muutoksesta riippuen pyritään, ennen projektin päättymistä, järjestämään lessons learned -tyyppinen tapaaminen, jonka tarkoituksena on katsoa vielä kerran muutoksen vaiheet läpi muutoksessa mukana olevien tiimien näkökulmasta ja miettiä kehittämiskohteita.

Operaattoriattribuutti GAGE R&R

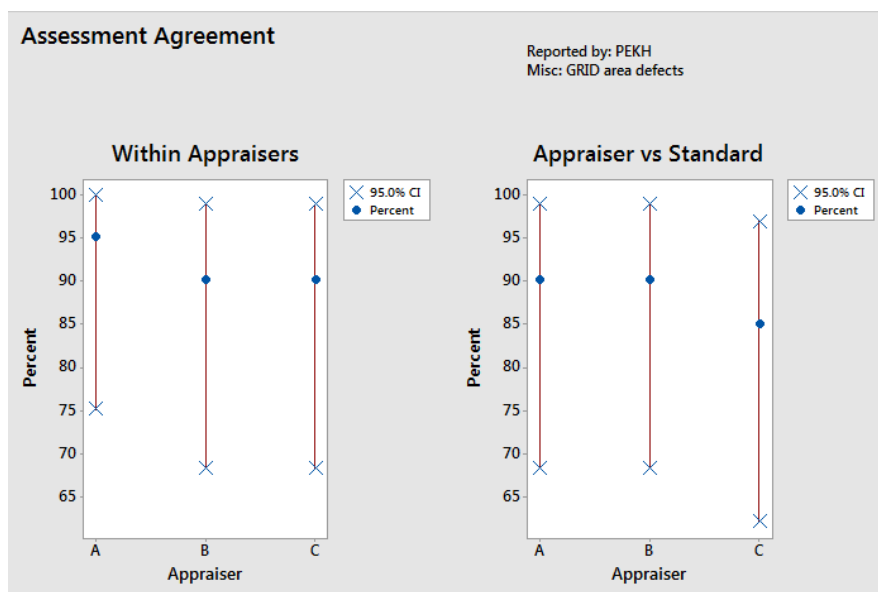
Ennen uuden mikroskoopin käyttöönottoa tuli varmistaa mikroskoopin vaikutus vaihtelun lähteenä prosessissa. Operaattoriattribuuttimittauksessa on kyse toistettavuus- ja uusittavuustesteistä, joilla saavutetaan oikeastaan kaksi asiaa: selvittää mahdolliset spesifikaatioon liittyvät tulkintaerot sekä kyvykkyys nähdä metallirakenteissa olevat viat. Prosessin kyvykkyuden kannalta on tärkeää, että operaattori päätyy päätöksentekovaiheessa samaan valintaan toistettavasti. Tähän samaan päätökseen pitäisi kyetä kaikkien mikroskoopilla työskentelevien operaattorien.

Testiä varten valmisteltiin 20 näytettä (10 spesifikaatiota vasten hyvää ja 10 huonoa kiekkoa) eli huonoilla tarkoitetaan kiekkoja, joissa oli jotain vikaa. Hyvien joukossa oli myös rajatapauksia, jotta pystyttiin selvittämään yksittäisen kiekon mahdolliset tulkintaerot tarkastusten välillä. Testiin otettiin kolme operaattoria, ja he arvioivat kunkin kiekon satunnaisessa järjestyksessä kolme kertaa hyväksyttäväksi tai hylättäväksi (hyväksytyt: ei vaadi jatkotoimenpiteitä ja hylätty: vaatii jatkotoimenpiteitä). Testin tulokset ovat näkyvissä taulukossa 1. Taulukossa viimeisessä sarakkeessa oikealla on esitetty spesifikaationa pidettävää tulosta (P: hyväksytyt, F: hylätty).

Taulukko 1 Kerätyt vastaukset analysointia varten.

Sample	Oper A 1st	Oper A 2nd	Oper A 3rd	Oper B 1st	Oper B 2nd	Oper B 3rd	Oper C 1st	Oper C 2nd	Oper C 3rd	Master
1	F	P	P	F	P	P	F	P	P	P
2	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
3	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
4	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
5	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
6	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
7	P	P	P	F	F	F	P	F	F	F
8	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
9	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
10	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
11	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
12	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
13	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
14	P	P	P	P	P	P	F	F	F	P
15	P	P	P	F	P	P	P	P	P	P
16	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
17	P	P	P	P	P	P	P	P	P	P
18	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
19	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F
20	F	F	F	F	F	F	F	F	F	F

Nämä tulokset vietiin Minitabiin, joka eritteli vastaukset toistettavuuteen (Within Appraisers) ja uusittavuuteen (Appraiser vs Standard). Kuvassa 10 näkyy kaikkien kolmen vastaajan (A, B, C) tulokset.



Kuva 10 Operaattorin toistettavuus vs. toistettavuus standardiin nähden

Testin tulosten pitäisi olla alle 10 % toleranssirajoista, jotta mittausysteemiä on hyvä käyttää. Mikroskooppia ei kuitenkaan luokitella mittausysteemiksi, koska se ei tuota mitään numeerista tietoa. Sillä tehdään puhtaasti silmämääräisesti hyväksyty-hylätty-tyyppistä tarkastusta. Tämän takia 10-15 %:n toleranssirajat ovat vielä täysin hyväksyttäviä. Laatujohtamisen konkari Joseph Juran määritteli ihmisen visuaalisen tarkastuk-

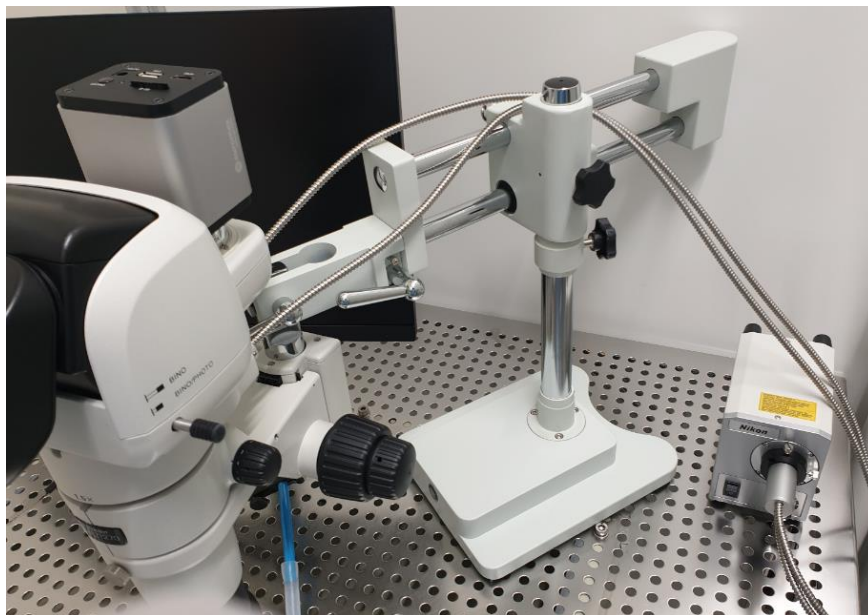
sen kyvykkyudeksi vain noin 80 %. Visuaalisen tarkastuksen kyvykkyys voidaan laskea käyttämällä kaavaa

$$N_{\alpha} = \frac{\text{number of true defects detected by the inspector}}{\text{number of true defects}}$$

jossa suhteellinen osuus N on havaittujen viallisten tuotteiden yhteenlaskettu määrä jaettuna viallisten tuotteiden määrällä. (Juran, J. 1999, 721.)

Tarkastus perustuu edelleen kuitenkin spesifikaatiosta huolimatta enemmän ja vähemmän operaattorin tulkintaan, ja siihen, kuinka hyvin tämä tuntee spesifikaation ja kuinka paljon tuotannossa esiintyy rajatapaustyypisiä vikoja. Myös spesifikaatiossa käytetyt mallikuvat vaikuttavat tulkintaan.

Uusi mikroskooppi koottiin puhdastilassa ensin alustavia testejä varten. Sen jälkeen se siirrettiin työpisteelle, josta vanha mikroskooppi poistettiin. Asennuksen yhteydessä suoritettiin työturvallisuusauditointi, koska mikroskooppi on tuotannossa toimiva laite. Myös ESD-mittaukset tuli sopiva tehtäväksi samaan yhteyteen. Uusi mikroskooppi on asennettuna työpisteelle kuvassa 11. Käyttöön otossa tuli huolehtia siitä, että asennustyö ja mittaukset saatiin tehtyä kohtuullisessa ajassa aiheuttamatta tarpeettoman pitkää tuotantokatkoa.



Kuva 11 Uusi mikroskooppi asennuksen aikana.

Samalla osa tarvikkeista sijoitettiin uudelleen siten, että pöydällä olisi mahdollisimman paljon työskentelytilaa. Mikroskoopin ympärillä oleva kömpelö muovikehikko poistettiin, koska mittaukset osoittivat sen olevan tarpeeton. Kehikon alkuperäinen idea oli estää partikkelien kulkeutuminen pöydän pinnoille ja operaattorin haalareihin. Mittaukset osoittivat, ettei kehikko palvellut tarkoitustaan. Nämä mittaukset löytyvät liitteestä 5.

Kuten aiemmin jo mainittiin, uusi laite otetaan Active-vaiheessa käyttöön tuotannossa. Viimeisenä vaatimuksena uuden laitteen käyttö edellyttää työohjeita ja että ohjeet on perehdytetty operaattoreille. Perehdytyksen tarkoituksena oli opastaa operaattorit käyttämään uutta laitetta. Tuotannon lisäksi laiteryhmä, joka vastaa laiteiden huoltotoimista, perehdytettiin uuden laitteen huoltotoimiin. Luonnollisesti kaikki nämä vaiheet piti olla tehtynä ennen asennuksen aloittamista.

6 Yhteenveto

6.1 Kyselytutkimus

Noin kuukausi mikroskoopin käyttöönoton jälkeen haluttiin selvittää tuotannon operaattoreiden tyytyväisyys kyselytutkimuksella. Kyselytutkimuksella oli mahdollista tavoittaa

eri vuoroissa työskentelevät operaattorit tehokkaasti. Kyselytutkimuksia tehdään välillä, mutta mitään vakiintunutta pohjaa niiden laadinnassa ei ole käytössä. Tuotannossa työskenteleviä operaattoreita rajoittaa myös se, ettei heillä ole mahdollisuutta vastata kyselyyn tuotannon päätteiltä.

Päätin toteuttaa kyselyn yhdysvaltalaisella SurveyMonkey-verkkokyselytutkimusohjelmistolla, joka toimii internetselainta käyttämällä ja johon vastattiin kannettavalta tietokoneelta. Ohjelmisto on visuaalinen, ja se tarjoaa selkeän jäsentelytavan jopa ilmaisversiossa. Halusin pitää kyselyn painopisteenä mikroskoopin vaihtoon liittyviä kysymyksiä, mutta myös kuulla palautetta projektin etenemisestä sekä työpisteestä yleisesti, koska yöpisteelle valjastettu tila oli erittäin rajallinen.

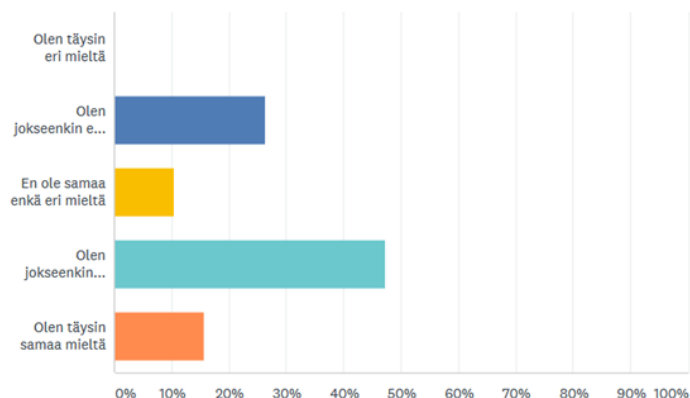
Kyselyssä oli yhteensä 9 kysymystä, joista yksi kysymys oli avoin. Avoimen kysymyksen kohdalla, joka oli kyselyssä viimeinen, pystyi joko avaamaan tarkemmin mielipidettään jo vastattujen kysymysten osalta tai muuten tuomaan kehitysideota työpisteen parantamiseksi. Ajattelin, että tämä olisi oiva tapa saada taustoitettua hankinnan jälkeistä parannustyötä.

Kysely jalkautettiin tehtäväksi tuotannon esimiesten ja vuoroissa toimivien aluevastavien kautta. Vastaaminen kävi operaattoreilta nopeasti eikä keskimääräiseksi vastausajaksi tullut edes yli viittä minuuttia. Kyselyyn vastaaminen edellytti luonnollisesti työn teon keskeyttämistä, joten valitsemalla kyselyyn pelkästään kriittiset kysymykset päästiin työtä jatkamaan mahdollisimman lyhyellä keskeytyksellä. Kysely ei ehtinyt tavoittamaan täysin kaikkia vuoroja, mikä näkyi lopulta vastausprosentissa, joka oli 45,24. Luonnollisesti tutkimuksen luotettavuuden kannalta tulisi huolehtia, että otos on tarpeeksi suuri, jotta vastaukset kattaisivat mahdollisimman laajasti tutkimustehtävän. Pääsin onneksi kuulemaan kyselyn ulkopuolelle jääneitä operaattoreita jälkeenpäin.

Kyselyyn vastanneiden mielipiteet hankintaprojektin eri vaiheiden tiedottamisesta ja kaantuivat kuvan 12 mukaisesti. Jako osoitti selvästi, että projektin kulku ja sisältö eivät olleet kaikille operaattoreille täysin selviä. Projektin etenemistä seurattiin prosessilaatu tiimin viikoittaisissa palavereissa, mutta tuotannossa viestintä tapahtui melkein kokonaan aamupalavereissa. Tuotannon aamupalavereita pidetään tärkeänä viestintäkanavana, mutta tiedottamisen kannalta tieto jää käytännössä läsnäoleville. Toinen tärkeä viestinnän kanava oli päiväkirja, jota kautta voitiin tiedottaa myös niitä operaatto-

reita, jotka eivät kuuluneet arkivuorojen piiriin. Luonnollisesti päiväkirja ei voita läsnäoloa.

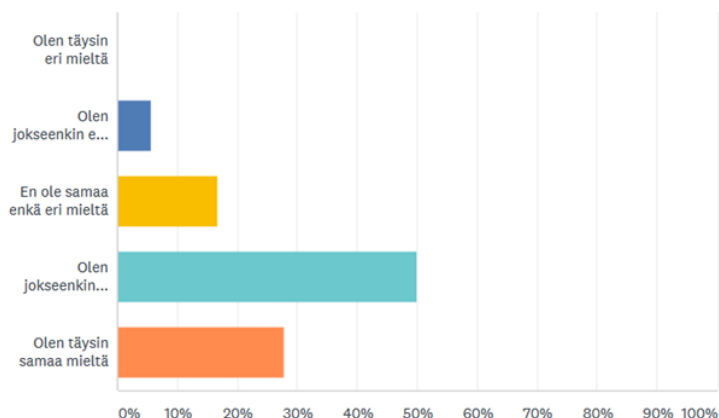
Sain mikroskoopin hankinnasta riittävästi informaatiota (ehdotus, aikataulu, tulevat muutokset)



Kuva 12 Vastaajien mielipide hankinnan vaiheiden tiedottamisesta.

Mikroskooppi vastasi odotuksiin kuvan 13 mukaisesti. Vastanneista noin 80 % oli sitä mieltä, että mikroskooppi vastasi odotuksiin.

Mikroskooppi ja näyttö vastasivat odotuksiani

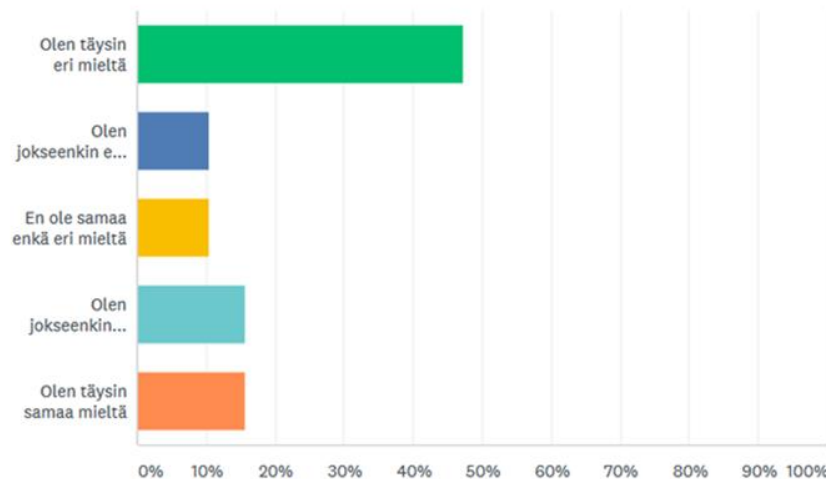


Kuva 13 Vastaajien mielipide kysymykseen: Vastasiko hankinta odotuksia.

Puolet vastanneista oli täysin eri mieltä näytön hyödyntämisestä työskentelyssä, mikä näkyy hyvin selvästi kuvassa 14. Tulosten syvempi analysointi ja keskustelut operaatoreiden kanssa osoittivat, ettei näyttöä hyödynnetä ympäristön tärinähaitan vuoksi.

Näyttö on kuitenkin hyvä työväline koulutuksen kannalta, kun uusia henkilöitä perehdytetään työhön. Tämä yksittäinen havainto oli tämän kyselytutkimuksen tärkeimpiä, ja se antoi kantavimman voiman jatkaa työpisteen kehitystä investointiprojektin päättymisen jälkeen.

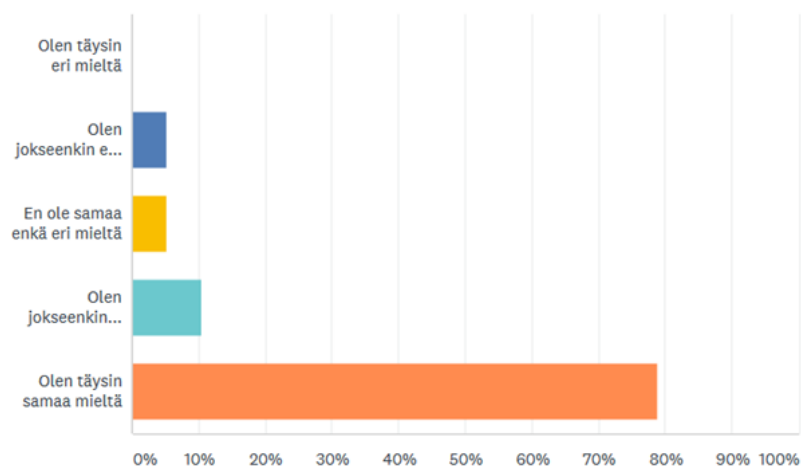
Hyödynnän näyttöä työskennellessäni



Kuva 14 Vastaajien mielipide näytön hyödyntämisestä.

Operaattoreiden mielipide linssin suurenuskertoimesta on esitetty kuvassa 15. Lähes kaikki olivat yhtä mieltä siitä, että uusi mikroskooppi oli riittävän tarkka tähän erityistä tarkkuutta vaativaan työskentelyyn.

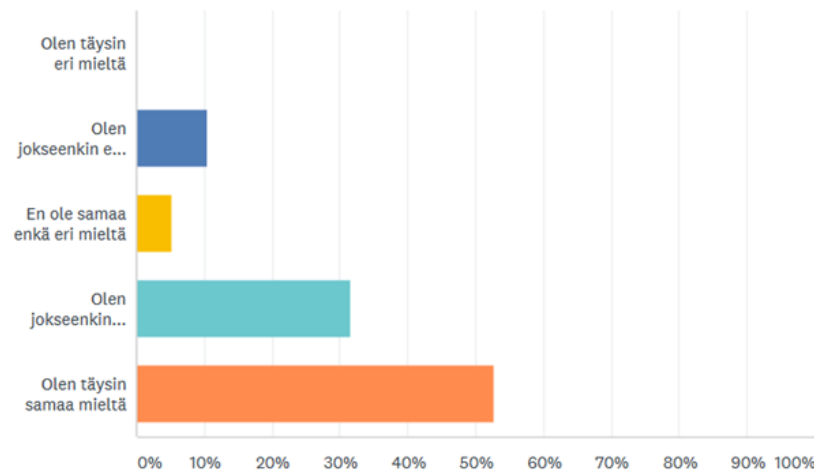
Pidän linssin suurenuskertoimta riittävänä (zoom-alue)



Kuva 15 Linssin suurenuskertoimen arviointi.

Kuvassa 16 on esitetty operaattoreiden mielipiteet mikroskoopin työskentelyetäisyyden riittävydestä. Myös tässä kysymyksessä oltiin lähes yhtä mieltä. Jalustan korkeussäätöön sekä valitun optiikan mahdollistavaan suureen työskentelyetäisyyteen oltiin tyytyväisiä.

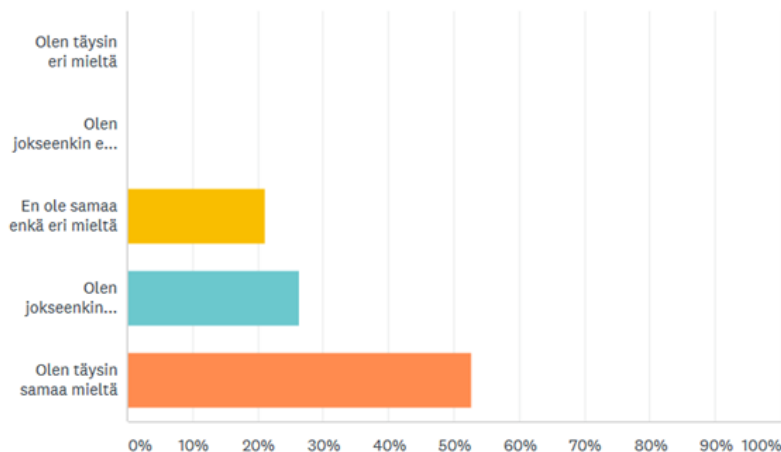
Linssin ja kiekkoalustan välissä on riittävästi tilaa työskentelylle



Kuva 16 Työskentelyetäisyyden arviointi mikroskoopin linssiin nähden.

Kuvassa 17 näkyy vastaajien mielipide optiikan ja valon riittävydestä nähdä erityyppisiä rakenteita kiekon pinnalta. Valotyyppin valintaan ja optiikkaan oltiin pääsääntöisesti tyytyväisiä.

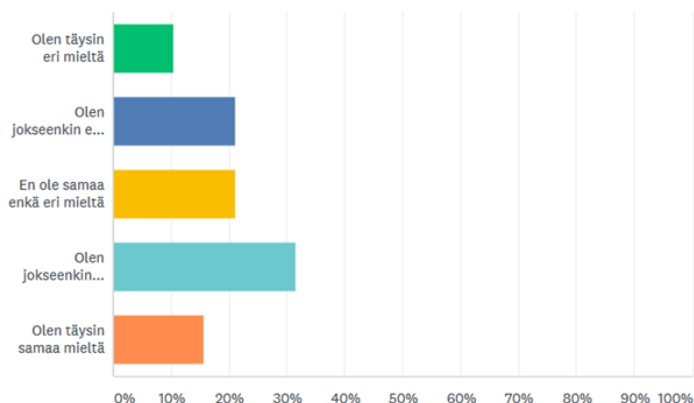
Koen näkeväni kokoonpanolla (optiikka + valo) hyvin erityyppiset defektit tuotteesta riippumatta



Kuva 17 Optiikan ja valon riittävyyden arviointi.

Kahdessa viimeisessä kysymyksessä kysyttiin työskentelytilaan liittyviä asioita. Kuvassa 18 on esitetty vastaajien mielipide työpöydän järjestyksen muutoksesta. Vastaukset jakaantuivat melko tasaisesti. Eniten tilaa toi muovikopan poisto pöydältä, joka kallisti vastaukset hieman positiivisen puolelle. Pöytä oli kuitenkin sama vanha, joten vastauksista korostuu selkeästi edelleen tarve edelleen kehittää työskentelypistettä.

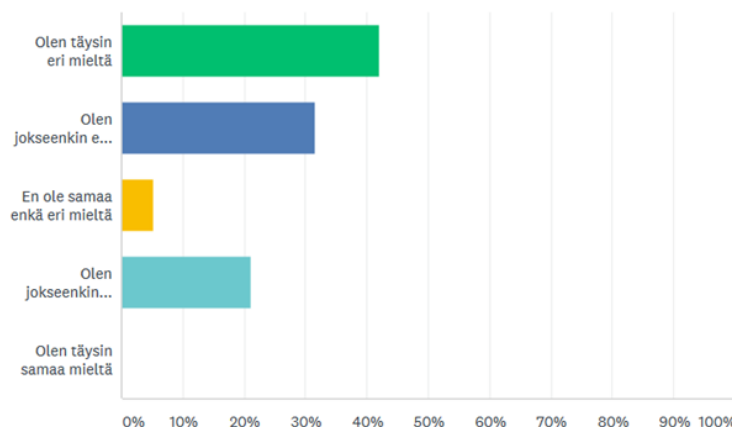
Sain käyttööni enemmän työskentelytilaa layout-muutoksen jälkeen



Kuva 18 Mielipiteet työskentelytilasta.

Viimeisessä kysymyksessä (kuva 19) haluttiin vastaajien mielipide yleisesti liittyen koko tilaan. Työskentelytilassa olisi selvästi edelleen kehitettävää. Tila on liian pieni, että siellä voisi säilyttää kaikkia tarvittavia materiaaleja siististi järjestyksessä.

Huoneessa on tilaa kaikelle tarpeelliselle (Huomioi kaikki materiaali mitä tarvitaan kuten esimerkiksi liinat ja hansikkaat)



Kuva 19 Yleinen arviointi tilan riittävydestä.

Viimeiseksi vastaajilla oli mahdollisuus täydentää omin sanoin jo esitettyjä kysymyksiä tai antaa kehitysideoita. Avoin kysymys oli tärkeä, jotta vastauksista ei muodostuisi liian karkeajakoisia ja että pääsisimme oikeasti analysoimaan puutteita oikealla tarkkuudella. Tähän kysymykseen vastasi puolet. Vastanneista enemmistö otti esille tilan ahtauden ja ympäristöstä aiheutuvan värinähaitan. Tilan seinän takana olevaan pukeutumishuoneeseen oli aktiivista kulkua, ja oven käydessä seinän kautta aiheutui värinää työpisteelle.

6.2 Johtopäätökset

Opinnäytetyön tarkoitus oli korvata vanha käytössä oleva mikroskooppi uudella ratkaisulla. Ratkaisun tuli vaikuttaa myönteisesti operaattorien työskentelyyn kiekkojen tarkastuksessa. Sen piti olla ergonomisempi vaihtoehto, mutta ennen kaikkea sen piti olla kyvykäs, jotta erityyppiset visuaaliset viat olisivat tarkastajalle näkyviä. Työn kautta työpisteen haasteet tuli saada näkyviin. Työn aikana suurimmaksi haasteeksi asetettiin työskentelytilan pieni koko siihen nähden, kuinka paljon sinne piti saada mahtumaan työvälineitä ja muuta työssä tarvittavaa materiaalia. 5S:n avulla tilasta saatiin muutosten jälkeen aavistuksen verran miellyttävämpi, mutta seuraavat kehitysaskeleet vaativat suurempia muutoksia ja sijainnin uudelleensuunnittelua.

Työn empiirisessä osiossa tuotiin työpisteen haasteet ja ongelmat näkyviksi gembakävelyä ja henkilöstön omia käsityksiä hyödyntämällä. Myöhemmin tehty kvalitatiivinen kyselytutkimus toi esiin monia työpistettä ja työskentelyä vaivaavia kipupisteitä vielä muutoksen jälkeenkin. Kyselytutkimuksessa tulleet vastaukset antoivat varmuutta jatkaa työpisteen sijainnin ja tilan parantamisessa. Yleisesti ottaen kyselyiden järjestämiselle tulisi pohtia standardia menetelmää tulevaisuutta varten. Se on nopea toteuttaa ja teettää, ja toimiessaan se tuo työyhteisön äänen kuuluviin. Tulosten perusteella uusi mikroskooppi miellytti lähestulkoon kaikkia vastaajia.

Työn kulku sujui johdonmukaisesti. Tiimien välistä yhteistyötä ja osaamista hyödynnettiin kasaamalla sellainen projektitiimi, jossa oli hankinnan kaikkien vaiheiden kattava osaaminen tuotannon operaattoreista, tuotannon esimiehistä, prosessilaadusta, prosessikehityksestä, laitevastaavista aina ostoon saakka. Erityisen positiivista oli nähdä tuotannon operaattoreiden aktiivisuus. Ilman heidän antamaansa palautetta muutos ei olisi ollut tuotannon tarpeet täyttävä eikä jatkokehitys olisi saanut tuulta siipiensä alle. Kehitysidea lähti alun perin vyörymään eteenpäin tuotannon tekemästä kaizen-ideasta.

Hankinta ei vaatinut jatkuvaa kaikenkattavaa valvontaa. Itse asiassa toimin opinnäytetyön aikana osana omaa tiimiäni vastaten tuotannon prosessilaadusta. Hankinta koski toimialuettani, joten hankinnan edistäminen ei vaatinut tiimien yli menevää aikasuunnittelua. Laitehankinnan vaiheiden hyväksyttäminen ei ollut minulle aikaisemmasta tuttua, mutta pääsin siitä nopeasti perille lyhyen perehdytyksen jälkeen.

Tulevaisuutta ajatellen olisi syytä tarkastella kiekkojen tarkastusta kahdella tapaa. Ensimmäisenä tulisi selvittää niitä syitä, mistä kiekkojen tarkastustarve muodostuu rakentamalla sen ympärille kunnon mittarit. Kaikkien vikojen sijainnista ja koosta ei jää prosessihistoriaan merkintää. Kun tähän saadaan rakennettua oikeanlainen mittaristo, on paremmat eväät päästä käsiksi kauseliteettiin eli syy-seuraussuhteeseen. Toisekseen jokainen tarkastettu kiekko on tuotteen ylimääräistä käsittelyä, jota prosessia parantamalla voitaisiin vähentää. Hukan lähteitä ajatellen itse asiassa melko moni seitsemästä hukasta toteutuu kiekkojen tarkastuksesta alkaen. Parhaimmillaan tämä työ murtaa kahdeksannen hukan muurin ja toimii esimerkkinä yhdestä onnistumisesta, kun tuotannossa työskentelevät operaattorit otetaan mukaan jatkuvaan parantamiseen.

Lähteet

1. Iloranta, K. & Pajunen-Muhonen. 2015. Hankintojen johtaminen: Ostamisesta toimittajamarkkinoiden hallintaan. Neljäs uudistettu painos. Helsinki. Tietosanoma Oy.
2. Martola, U., Santala, R. 1997. Liiketoimintaprosessit - BPR-muutoksen johtaminen. Porvoo: WSOY.
3. SYS 1032, systeemidokumenitti Rev.3 Equipment Investment Process (EIP) 2018. (Yrityksen sisäinen dokumentti). Murata Electronics Oy. Ei yleisesti saatavilla.
4. Kuisma, M., Leinonen, S. 2004. Puolijohdekomponenttien valmistu. Verkkoaineisto <http://www.kuisma.eu/elper/9valmistus/5valmistus.html>.
Luettu 18.11.2019.
5. EIP Training. 2019. (Yrityksen sisäinen dokumentti). Murata Electronics Oy. Ei yleisesti saatavilla.
6. EIP Equipment Investment Process. 2018. (Yrityksen sisäinen dokumentti). Murata Electronics Oy. Ei yleisesti saatavilla.
7. Barrentine, L. B. 2003. Concepts for R&R Studies, Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.
8. Kiekkoprosessit - Metallointi. 2017. (Yrityksen sisäinen dokumentti). Murata Electronics Oy. Ei yleisesti saatavilla.
9. Bicheno, J & Holweg, M. 2009. The Lean Toolbox. Iso-Britannia: PIC-SIE Books.
10. Haverila M., Uusi-Rauva E., Kouri I., Miettinen A. 2009. Teollisuustalous. 6. painos. Tampere. Hämeen Kirjapaino Oy.
11. Rother, M. 2010. Toyota KATA, Managing people for improvement, adapti-veness, and superior results. McGraw-Hill Education books.
12. Niva M., Tuomainen K., 2005. Benchmarking käytännössä. 1.painos Benchmarking Ltd.
13. Groover, Mikell P. 2008. Automation, Production Systems and Computer-integrated Manufacturing. Third Edition. New Jersey. Pearson Education Inc.

14. HERO-raportti rev. 5. 2019. (Yrityksen sisäinen dokumentti). Murata Electronics Oy. Ei yleisesti saatavilla.
15. Bhuiyan, Nadia –Baghel Amit 2005. An overview of continuous improvement: from the past to the present. Iso-Britannia: Emerald Group Publishing Limited. Verkkoaineisto: <https://www.emeraldinsight.com/doi/abs/10.1108/00251740510597761>. Luettu 01.11.2019.
16. Liker, J.K. 2004. Toyotan tapaan. Suom. Marko Niemi. Helsinki: Readme.fi.
17. Syed, F. 2009. What is 1-10-100 Rule?. Verkkoaineisto <https://totalqualitymanagement.wordpress.com/2009/02/25/what-is-1-10-100-rule/> Luettu 5.12.2019.
18. L A ATUPASSI, 2018 (Yrityksen sisäinen dokumentti). Murata Electronics Oy. Ei yleisesti saatavilla.
19. Cahill D., Deming W.E., Orsini J. 2012. The Essential Deming: Leadership Principles from the Father of Quality. McGraw-Hill- e-kirja.
20. Change control ECN process training material, 2019 (Yrityksen sisäinen dokumentti). Murata Electronics Oy. Ei yleisesti saatavilla.
21. Juran, J., Godfrey, A. 1999. Juran's Quality Handbook. Viides uudistettu painos. McGraw-Hill.
22. Arrow Engineering, 2016. 5S-menetelmällä siisteyttä ja järjestystä tuotantotiloihin. Verkkoaineisto: <https://blogi.arroweng.fi/5s-menetelm%C3%A4ll%C3%A4-siisteytt%C3%A4-ja-j%C3%A4rjestyst%C3%A4-tuotantotiloihin> Luettu 16.12.2019.